

# 26 › Adesão microbiana a superfícies bióticas e abióticas

J. Azeredo<sup>1</sup>, M. Henriques<sup>1</sup>, J. Novello<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IBB – Instituto de Biotecnologia e Bioengenharia, Centro de Engenharia Biológica, Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal

<sup>2</sup>DTA – Departamento de Tecnologia de Alimentos, Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal de Viçosa, 36570-000, Viçosa, Brasil

\*Autor para correspondência: jazeredo@deb.uminho.pt

## 26.1 › A importância da adesão na formação de biofilmes

A adesão de microrganismos a superfícies é um fenómeno que ocorre naturalmente em meios aquosos e que depende das propriedades superficiais dos suportes de adesão (carga superficial, hidrofobicidade e tensão superficial), das propriedades superficiais e dos microrganismos (exopolímeros, adesinas ou estruturas extracelulares) envolvidos na adesão e das propriedades do meio aquoso (presença de substâncias que podem condicionar as superfícies, pH e força iónica do meio). A adesão é considerada a primeira etapa da formação de biofilmes e, por isso, o estudo dos mecanismos de adesão e dos fenómenos de interação entre substratos e microrganismos assume um papel muito importante na ciência e engenharia de biofilmes. Este passo inicial da colonização microbiana pode ocorrer tanto em superfícies abióticas (quer dispositivos

médicos, quer materiais utilizados na indústria alimentar), como em superfícies bióticas (células do hospedeiro).

## 26.2 › Adesão a superfícies abióticas

Quando uma superfície sólida entra em contacto com uma solução, ocorre inicialmente a adsorção de macromoléculas presentes nessa solução (saís, proteínas e lípidos), que a revestem e a condicionam, provocando muitas vezes alterações nas suas propriedades superficiais. Por exemplo, as próteses dentárias ficam revestidas por compostos da saliva (mucina, lisozima e ureia), após a sua colocação na boca; as lentes de contacto quando inseridas nos olhos, ficam imediatamente condicionadas pelas proteínas da lágrima (lactoferrinas e lisozima) com consequente alteração da hidrofobicidade. Este fenómeno ocorre rapidamente e precede a

adesão microbiana, que pode dar-se em três fases (figura 26.1).

### Fase 1 - Transporte até à superfície

Em fluidos quiescentes (fluidos em repouso) ou na camada viscosa do fluxo turbulento, o transporte de microrganismos até à superfície pode fazer-se por difusão à custa de movimentos específicos, denominados *Brownianos* (deslocamento médio de 40  $\mu\text{m}/\text{h}$ ). Quando o transporte das células se faz num fluido em movimento, a aproximação dos microrganismos à superfície pode fazer-se por convecção. A velocidade do transporte convectivo é muito maior do que a do transporte por difusão. Finalmente, o transporte de microrganismos até à superfície pode ocorrer por movimento ativo dos mesmos quando possuem apêndices extracelulares, que lhes conferem mobilidade, como os pili ou flagelos.

### Fase 2 - Adesão inicial

Na vizinhança da superfície (50 nm), as células e a superfície podem interatuar por forças de curto e longo alcance, conduzindo à adesão. Nesta fase do processo, a adesão pode ser reversível ou irreversível. A adesão é reversível quando o microrganismo, após estar fixo à superfície, continua a exibir movimentos *Brownianos* e pode ser removido por ação de forças de corte, ou pelo movimento ativo próprio da célula. Quando a célula se fixa irreversivelmente, deixa de poder ser removida facilmente da superfície e não exibe movimentos *Brownianos*.

### Fase 3 - Fixação à superfície

Após ocorrer a adesão inicial pode estabelecer-se uma ancoragem firme entre a célula microbiana e o suporte a partir de ligações físico-químicas específicas (ligações covalentes, iónicas e pontes de hidrogénio) ou através de pontes estabelecidas por estruturas extracelulares específicas produzidas pelos microrganismos. Estas estruturas podem ser apêndices celulares filamentosos ou polímeros extracelulares. As ligações são normalmente mediadas por pontes poliméricas ou por componentes extracelulares específicos do microrganismo (adesinas) e receptores complementares localizados na superfície.

## FORÇAS DE INTERAÇÃO ENVOLVIDAS NA ADESÃO

As interações entre microrganismos e superfícies são efetuadas por um conjunto de fenómenos físico-químicos, termodinâmicos e microbiológicos. Existem algumas teorias que permitem quantificar variações de energia de interação entre as superfícies envolvidas. Contudo, apenas consideram os aspetos físico-químicos e termodinâmicos da adesão, omitindo o facto de os microrganismos serem superfícies vivas. Nas secções seguintes apresentam-se algumas teorias que descrevem a interação entre superfícies, bem como os aspetos microbiológicos envolvidos na adesão a superfícies abióticas.

## TEORIA DLVO

A adesão de microrganismos a superfícies pode ser definida como a energia envolvida na



**Figura 26.1** > Fases da adesão a superfícies.

1 formação de uma ligação entre o suporte e a  
2 célula. Portanto, a energia de adesão pode ser  
3 quantificada como o trabalho necessário para  
4 remover a célula e repô-la no seu estado original.

5 Uma vez que a maioria das bactérias não  
6 excede os 2,0  $\mu\text{m}$  de comprimento, a sua den-  
7 sidade é pouco superior à da água e possuem  
8 uma carga global negativa, podem ser conside-  
9 radas como partículas coloidais vivas e, conse-  
10 quentemente, a adesão pode ser interpretada  
11 de acordo com a teoria DLVO, desenvolvida por  
12 Derjaguin e Landau (1941) e Verwey e Overbeek  
13 (1948) para explicar a estabilidade de coloides  
14 liofóbicos.

15 Segundo a teoria DLVO, a variação da energia  
16 potencial total de interação entre dois corpos  
17 ( $\Delta G_T$ ) é resultante da ação combinada entre as  
18 forças atrativas de *van der Waals* ( $\Delta G_W$ ) e as forças  
19 da dupla camada elétrica ( $\Delta G_{DL}$ ) (equação 1).  
20 Uma vez que a maioria das superfícies adquire  
21 carga negativa quando em solução, as forças da  
22 dupla camada elétrica apresentam geralmente  
23 um caráter repulsivo.

$$\Delta G_T = \Delta G_W + \Delta G_{DL} \quad (\text{eq. 1})$$

## 24 FORÇAS DE VAN DER WAALS

25 Estão identificados três tipos de forças genera-  
26 ralmente designadas por forças de *van der Waals*:

27 (i) dispersão de *London*, que ocorre quando dois  
28 átomos se aproximam e se atraem devido a di-  
29 polos instantâneos induzidos (alteração relativa  
30 da posição do eletrão em relação ao neutrão); (ii)  
31 interações de *Debye*, que se manifestam quando  
32 uma molécula que possui um dipolo que inte-  
33 ratua com um átomo, criando-se uma situação  
34 dipolo-dipolo induzido; (iii) interações de *Keesom*,  
35 que se manifestam quando duas moléculas se  
36 aproximam, criando interações dipolo-dipolo. A  
37 intensidade das forças de interação de *van der*  
38 *Waals* é diretamente proporcional ao tamanho  
39 dos corpos interatuantes e varia na razão inversa  
40 da distância à superfície.

## FORÇAS DA DUPLA CAMADA ELÉTRICA

A maior parte dos sólidos, quando imersos numa solução aquosa, adquire carga superficial por ação de diversos mecanismos. No caso de sistemas biológicos, a carga superficial adquire-se por adsorção de iões ou por ionização de grupos superficiais. Este fenómeno depende geralmente das propriedades da solução aquosa, nomeadamente do pH, uma vez que na superfície dos microrganismos existem grupos ácidos (carboxilo e fosfato) e básicos (grupos amina) que reagem com os iões  $\text{OH}^-$  e  $\text{H}_3\text{O}^+$  presentes na solução. Assim, em soluções próximas da neutralidade, as bactérias possuem uma carga global negativa em consequência de haver um maior número de grupos fosfato e carboxilo. Contudo, quando o pH é demasiado baixo, estas podem apresentar uma carga global positiva, por causa da predominância de grupos amina. Nesse contexto, uma superfície de um sólido eletricamente carregado, em contacto com uma solução aquosa, atrai iões de sinal contrário (contra-iões) do meio e, simultaneamente, repele os iões de sinal igual (co-iões). Este mecanismo, juntamente com o efeito oposto dos movimentos *Brownianos*, dá origem a uma distribuição de *Poisson-Boltzmann* de iões através da fase aquosa, criando uma camada difusa denominada dupla-camada elétrica.

O potencial eletrostático que se estabelece devido à diferente concentração de cargas no interior da dupla camada tem a designação de potencial da dupla camada elétrica e o seu valor diminui à medida que a distância aumenta em relação à superfície. Dessa forma, a uma distância suficientemente grande, o potencial será igual ao da solução, mas, por convenção, é definido como sendo nulo.

A relação que descreve a energia potencial de interação entre uma esfera (1) e uma placa (2) plana ( $\Delta G_{DL}^{esfera / placa}$ ) para potenciais de superfície constantes, de acordo com a sua distância ( $H$ ) é a seguinte:

$$\Delta G_{DL\text{esfera/placa}}^{\psi} = \varepsilon \pi r \left[ (\psi_{01} + \psi_{02})^2 \ln(1 + \exp(-kH)) + (\psi_{01} - \psi_{02})^2 \ln(1 - \exp(-kH)) \right] \quad (\text{eq. 2})$$

onde  $\psi_{01}$  e  $\psi_{02}$  representam os potenciais de superfície da esfera 1 e da placa 2, respectivamente,  $\varepsilon$  a constante dielétrica do meio,  $r$  o raio da esfera e  $k$  o inverso da espessura da dupla camada, ou o parâmetro de *Debye-Hückel*. Esta equação só é válida para valores de potencial inferiores a 25 mV, mas pode ser utilizada com segurança até potenciais inferiores a 50 mV. O parâmetro de *Debye-Hückel* é expresso por:

$$k = \sqrt{\frac{2000 e^2 N_A I}{\varepsilon K_B T}} \quad (\text{eq. 3})$$

em que  $e$  representa a carga do eletrão,  $N_A$  o número de Avogadro,  $I$  a força iónica do meio,  $K_B$  a constante de *Boltzmann* e  $T$  a temperatura absoluta.

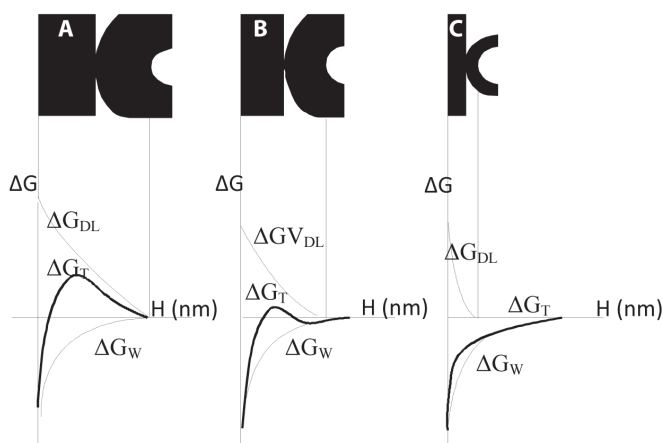
O potencial eletrostático à superfície dos corpos pode ser determinado através do ponto de carga nula segundo a equação de *Nernst*:

$$\psi_0 = \frac{2.303RT}{F} \log \frac{C}{C_{ZP}} \quad (\text{eq. 4})$$

em que  $C_{ZP}$  representa a concentração molar dos iões nas condições do ponto de carga nula e  $C$  a concentração molar dos iões da solução,  $F$  a constante de *Faraday*,  $R$  a constante dos gases perfeitos e  $T$  a temperatura absoluta.

Convencionou-se que as interações atrativas são negativas e as repulsivas positivas, portanto, ao contrário das interações de *van der Waals*, que possuem um sinal negativo, as interações da dupla camada elétrica são positivas. A soma destas duas contribuições resulta num perfil de energia potencial que depende da força iónica do meio (figura 26.2).

Quando a força iónica do meio é baixa (figura 26.2A), o perfil de energia potencial de interação entre dois corpos de sinal igual apresenta um máximo de energia (que representa uma barreira para a aproximação dos corpos) e um mínimo de energia, designado mínimo primário, que se localiza a uma distância inferior a 2 nm da superfície. A barreira de energia



**Figura 26.2.** Representação esquemática do perfil de energia potencial global ( $\Delta G$ ) de interação entre dois corpos, separados por uma distância ( $H$ ), de sinal igual segundo a teoria DLVO para forças iónicas do meio baixas **(A)**, intermédias **(B)** e elevadas **(C)**.

diminui quando se aumenta a força iônica do meio, devido a uma diminuição da energia potencial da dupla camada elétrica. Quando a força iônica do meio apresenta valores intermédios (figura 26.2B), o máximo de energia diminui e cria-se um mínimo secundário. Nestas condições, o máximo de energia é geralmente baixo e o seu valor é tanto menor quanto mais pequena for a partícula. Portanto, uma fração de partículas pode conter energia suficiente para ultrapassar esta barreira de energia. Uma vez ultrapassado o máximo de energia e atingido o mínimo primário, a ligação entre os dois corpos interatuantes torna-se irreversível. O mínimo secundário situa-se aproximadamente a 10 nm da superfície e pode ser tanto mais profundo quanto maiores forem as forças atrativas de *van der Waals* e consequentemente, quanto maior for o tamanho das partículas. Contudo, se os valores da força iônica do meio forem elevados (figura 26.2C), a energia potencial de interação será sempre negativa e, assim, todas as partículas poderão atingir o mínimo primário.

Se ambas as partículas interatuantes tiverem cargas de sinal oposto, as forças eletrostáticas tornam-se atrativas. Neste caso, as partículas podem aproximar-se do mínimo primário sem qualquer dificuldade, resultando numa adesão forte e irreversível.

A existência de dois mínimos de energia permite distinguir entre adesão reversível e irreversível. Quando o mínimo secundário é atingido, a uma distância de separação não nula, os microrganismos podem apresentar movimentos *Brownianos* e serem removidos facilmente da superfície. Neste caso, a adesão é reversível. Mas os microrganismos que aderem irreversivelmente no mínimo primário, já não podem ser facilmente removidos da superfície. Quando os microrganismos interatuantes são bactérias, o mínimo secundário localiza-se entre 5 a 20 nm da superfície e não atinge valores negativos muito elevados, sendo muito provável

a ocorrência de adesão reversível. A teoria DLVO considera somente as forças de longo alcance (forças de *van der Waals* e forças resultantes da interação da dupla camada elétrica) e, portanto, os desvios obtidos relativamente a esta teoria têm sido explicados pela ação de forças de curto alcance.

## TEORIA TERMODINÂMICA

O contacto entre um microrganismo (por exemplo uma bactéria) e uma superfície em solução aquosa só se pode realizar se o filme de água que reveste as duas superfícies for removido. Portanto, a interface bactéria/líquido (b/l) e a interface superfície/líquido (s/l) terão de ser substituídas pela interface bactéria/superfície de adesão (b/s). Segundo o modelo termodinâmico, a energia livre permutada neste fenómeno tende a ser minimizada e, portanto, a adesão só se poderá verificar se o processo conduzir a uma diminuição da energia livre global. Neste modelo, não são consideradas as interações eletrostáticas e as interações específicas mediadas por exopolímeros ou apêndices extracelulares.

A energia livre de adesão ( $\Delta G_{\text{adesão}}$ ) permutada na substituição das interfaces é definida pela equação modificada de *Dupré* (eq. 5).

$$\Delta G_{\text{adesão}} = \gamma_{\text{bs}} - \gamma_{\text{bl}} - \gamma_{\text{sl}} \quad (\text{eq. 5})$$

Nesta equação,  $\gamma_{\text{bs}}$  corresponde à tensão interfacial bactéria/superfície,  $\gamma_{\text{bl}}$  corresponde à tensão interfacial bactéria/líquido e  $\gamma_{\text{sl}}$  corresponde à tensão interfacial superfície/líquido.

As teorias até agora apresentadas permitem interpretar parcialmente os fenómenos de adesão. A primeira teoria apresentada, teoria DLVO, explica a adesão de microrganismos com base na interação entre partículas coloidais e despreza todos os aspetos microbiológicos da adesão. Nesta teoria, as forças de interação contabilizadas são fundamentalmente forças de

1 longo alcance e, portanto, só preveem se os mi-  
2 croorganismos se aproximam a certa distância da  
3 superfície. Por outro lado, forças de curto alcan-  
4 ce, também conhecidas como forças não DLVO  
5 (pontes poliméricas, interações estéricas, forças  
6 de hidratação, forças resultantes das interações  
7 hidrofóbicas), permitem justificar os desvios da  
8 teoria DLVO. Contudo, este tipo de interações  
9 (com a exceção das interações hidrofóbicas) não  
10 são facilmente quantificáveis.

11 A segunda teoria apresentada – teoria  
12 Termodinâmica – permite quantificar a energia  
13 envolvida na adesão e assim prever de forma  
14 quantitativa a possibilidade de se estabelecer  
15 uma interface entre a superfície de adesão e o  
16 microrganismo. Mas, nesta teoria, as interações  
17 eletrostáticas não são contabilizadas e são muito  
18 importantes em meios aquosos. Por isso, esta só  
19 pode ser aplicada se a barreira de energia que  
20 separa as duas superfícies for ultrapassada.

21 Em 1994, *van Oss* publicou uma súmula de  
22 uma extensão à teoria DLVO para explicar a in-  
23 teração entre partículas, que integra os aspetos  
24 termodinâmicos da adesão com a teoria DLVO,  
25 que se designa por teoria xDLVO.

## 26 27 **TEORIA xDLVO**

28 Quando duas partículas ou macromoléculas  
29 imersas numa solução aquosa se aproximam,  
30 as primeiras forças de interação que se estabe-  
31 lecem entre as duas superfícies designam-se por:

- 32 › Interações eletrodinâmicas ou apolares ou  
33 de *Lifshitz-van der Waals* (interações LW);
- 34 › Interações polares ou interações ácido-base  
35 de *Lewis* (interações AB);
- 36 › Interações eletrostáticas resultantes da  
37 sobreposição das duplas camadas elétricas  
38 (interações DL);
- 39 › Interações resultantes dos movimentos  
40 *Brownianos* (interações BR).

41  
42 A energia livre total ( $\Delta G^{\text{TOT}}$ ) destas interações  
43 é resultante do somatório das energias livres de

cada uma das forças de interação, segundo a  
equação seguinte:

$$\Delta G^{\text{TOT}} = \Delta G^{\text{LW}} + \Delta G^{\text{AB}} + \Delta G^{\text{DL}} + \Delta G^{\text{BR}} \quad (\text{eq. 6})$$

A energia livre da interação de *Lifshitz-van der Waals* entre um microrganismo (m) e uma superfície sólida (s), ambos imersos num meio líquido (l), calcula-se com base nas componentes apolares das tensões superficiais das entidades interatuantes, de acordo com a equação seguinte:

$$\Delta G_{\text{m/s}}^{\text{LW}} = -2\gamma_l^{\text{LW}} - 2\sqrt{\gamma_m^{\text{LW}}\gamma_s^{\text{LW}}} + 2\sqrt{\gamma_m^{\text{LW}}\gamma_l^{\text{LW}}} + 2\sqrt{\gamma_s^{\text{LW}}\gamma_l^{\text{LW}}} \quad (\text{eq. 7})$$

Esta energia livre varia com a distância entre as superfícies interatuantes, sendo mais atrativa quando as duas entidades (microrganismo e superfície sólida) estão próximas. A expressão que permite calcular a variação da energia livre de *Lifshitz-van der Waals* de uma partícula esférica em função da distância (H) é a seguinte:

$$\Delta G_{\text{m/s}}^{\text{LW}} = \frac{-A_{\text{m/s}}r}{6H} \quad (\text{eq. 8})$$

Em que  $A_{\text{m/s}}$  representa a constante de Hamaker, entre o microrganismo (m) e a superfície do material (s) quando no seio de um líquido (l). Estas interações dependem das interações que ocorrem entre cada par de fatores de acordo com a equação 10.

Em meios aquosos, as forças de interação polares são devidas principalmente a interações entre dadores e aceitadores de eletrões que representam interações do tipo ácido-base de *Lewis*, geralmente designadas AB.

Num sistema trifásico, a interação polar entre um microrganismo (m) e uma superfície sólida (s), ambos imersos num meio líquido (l), calcula-se com base nas componentes polares das tensões superficiais das entidades interatuantes, de acordo com a equação seguinte:

$$\Delta G_{ms}^{AB} = 2 \left[ \sqrt{\gamma_l^+ (\sqrt{\gamma_m^+} + \sqrt{\gamma_s^+} - \sqrt{\gamma_l^-})} + \sqrt{\gamma_l^- (\sqrt{\gamma_m^-} + \sqrt{\gamma_s^-} - \sqrt{\gamma_l^+})} - \sqrt{\gamma_m^+ \gamma_s^+} - \sqrt{\gamma_m^- \gamma_s^-} \right] \quad (\text{eq. 9})$$

As interações polares diminuem com a distância (H) à superfície da partícula para valores de H aproximadamente superiores a 1 nm, de acordo com a expressão seguinte:

$$A_{132} = \left( \sqrt{A_{11}} - \sqrt{A_{33}} \right) \left( \sqrt{A_{22}} - \sqrt{A_{33}} \right) \quad (\text{eq. 10})$$

Neste caso  $\Delta G_{H_0}^{AB}$  representa a energia livre polar de coesão de uma substância à distância  $H_0$ ; este valor pode ser determinado pela equação 9.  $\lambda$  representa a distância de interação das moléculas do líquido; para a água, o valor de  $\lambda$  encontrado foi de 1.0 nm.

Os parâmetros  $A_{ii}$  dependem da tensão superficial de acordo com a equação 11.

$$A_{ii} = 2\gamma_i^{LW} \times 12\pi H_0^2 \quad (\text{eq. 11})$$

## OUTRAS INTERAÇÕES

Com base na teoria DLVO, as forças eletrostáticas entre microrganismos e superfícies de adesão são repulsivas, considerando que, em meio aquoso, a maior parte dos microrganismos apresenta uma superfície com carga iónica negativa, assim como grande parte das superfícies de adesão. Se a força iónica do meio não for muito elevada, o perfil de energia potencial de interação é caracterizado por uma barreira de energia (figura 26.2B) que dificulta a aproximação das superfícies necessárias para se estabelecerem interações de curto alcance (até 0,3 nm de distância) responsáveis pela adesão firme. Nestes casos, a interação entre microrganismos e superfícies só poderia ocorrer no mínimo secundário (5 a 20 nm da superfície) e, por conseguinte, a adesão seria reversível. Contudo, muitos microrganismos aderem firmemente a superfícies sólidas em ambientes aquosos de baixa força iónica. Nestas

situações, a adesão pode ser explicada pelo facto dos microrganismos poderem ser móveis ou mesmo apresentarem estruturas extracelulares, tais como fimbrias ou pelos, capazes de ultrapassar a barreira de energia imposta pelas forças eletrostáticas repulsivas.

Outro facto que favorece a adesão de microrganismos é a síntese de polímeros extracelulares. Estes, por sua vez, são substâncias excretadas por muitas bactérias para o meio ambiente que podem ficar firmemente aderidas à parede da célula, o que resulta na formação de exopolímeros capsulares (CPS, do inglês *Capsular Polymeric Substances*) ou de uma camada mucosa a envolver a célula (glicocálice).

Os CPS e o glicocálice são substâncias poliméricas constituídas por polímeros mucopoliproteicos e fundamentalmente por heteropolissacáridos.

A produção de polímeros está associada à adesão irreversível das bactérias a superfícies. Este facto tem sido provado pela observação de material polimérico remanescente na superfície de adesão quando se procede à remoção artificial das bactérias aderidas. Este material polimérico é considerado o vestígio de adesão das bactérias, tendo sido por isso denominado por *footprints*. O carácter irreversível das interações poliméricas pode ser explicado pelo facto de a maior parte dos exopolímeros ser constituída por aproximadamente  $10^5$  unidades. Como 30 a 60% destas unidades podem estabelecer ligações fracas com a superfície, o conjunto total destas ligações fracas resulta numa forte ligação do polímero à superfície, facto que aparentemente é responsável pela sua adsorção irreversível. Da mesma maneira, quando uma célula envolvida por exopolímeros se aproxima de uma superfície, as cadeias poliméricas possuem energia suficiente que lhes permite



1 ultrapassarem a barreira de energia e estabelecer  
2 ligações fracas com a superfície, resultando no  
3 conjunto numa interação irreversível entre as  
4 duas superfícies.

## 7 26.3 > Adesão a superfícies 8 bióticas

10 Além das superfícies abióticas (como os dispositi-  
11 vos médicos), sabe-se que os microrganismos  
12 patogénicos aderem igualmente à superfícies  
13 bióticas do hospedeiro, como as células epite-  
14 liais que revestem as mucosas e a maioria dos  
15 tecidos, as células endoteliais que revestem as  
16 veias, artérias e todos os vasos sanguíneos, os  
17 fibroblastos que fazem parte dos tecidos mus-  
18 culares e as células ósseas. Muitas vezes, esta  
19 colonização das superfícies bióticas é devida  
20 ao desprendimento das células dos biofilmes,  
21 formados nos dispositivos médicos e/ou im-  
22 plantes, que podem colonizar outros locais mais  
23 distantes. Por outro lado, a adesão às superfícies  
24 bióticas (como dentes ou gengivas), pode dar  
25 origem à colonização dos dispositivos externos  
26 ao corpo, como por exemplo um implante  
27 dentário.

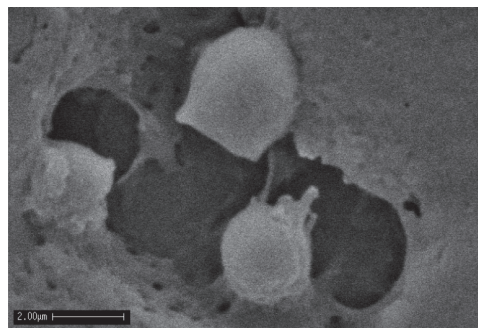
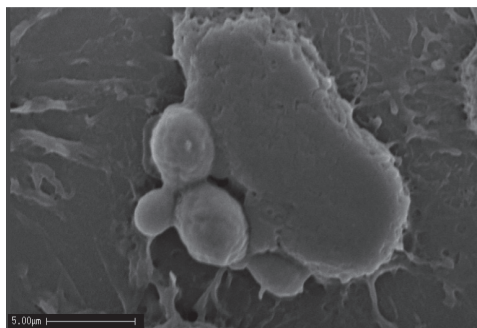
28 Apesar das interações não-específicas (como  
29 a hidrofobicidade e carga superficial) poderem  
30 estar relacionadas com esta adesão, geralmente

as interações específicas, como as forças de  
ligação entre os microrganismos e as células  
animais ou a sua matriz celular (figura 26.3), são  
as mais importantes.

Tantos os microrganismos como as células  
do hospedeiro possuem compostos, que po-  
dem ser proteínas ou hidratos de carbono, e  
que são reconhecidos entre eles, promovendo  
a adesão. Nos microrganismos estas moléculas  
(designadas por adesinas) são responsáveis por  
mediar a interação com as células animais e  
podem ocorrer nos pili, flagelos ou na superfície  
celular. Nas células animais estes compostos  
denominam-se moléculas de adesão celular  
(CAM, do inglês *Cell Adhesion Molecules*). As CAM  
são recetores que regulam as interações célula-  
célula ou célula-matriz extracelular. Geralmente  
estas moléculas são classificadas em 4 grupos  
principais: integrinas, caderinas, membros da  
família das imunoglobulinas e selectinas.

## 26.4 > Conclusões

Embora muitas teorias ajudem a explicar os  
mecanismos de adesão dos microrganismos  
às superfícies, o processo de interação célula/  
superfície é complexo e multifatorial e, em  
muitos casos, não é descrito somente por estas  
teorias. Isso ocorre porque normalmente há



42 **Figura 26.3.** Imagem de microscopia eletrônica de varrimento de leveduras de **Candida**  
43 **albicans** aderidas a células epiteliais.



adsorção de compostos orgânicos e inorgânicos às superfícies antes da adesão microbiana, formando o chamado filme condicionante. Além disso, estas teorias consideram o microrganismo como uma partícula coloidal, não como um ser vivo capaz de produzir exopolissacarídeos e emitir apêndices celulares de forma a alterar as condições iniciais de adesão.

## NO FINAL DA LEITURA DESTE CAPÍTULO, O LEITOR DEVE:

- › Descrever as etapas de adesão dos microrganismos;
- › Compreender as teorias DLVO, termodinâmica e xDLVO, utilizadas para descrever as interações entre microrganismo e superfícies abióticas;
- › Identificar as propriedades físico-químicas e biológicas dos microrganismos que estão envolvidos na adesão.

## LEITURA RECOMENDADA

- Azeredo, J., Visser, J., Oliveira, R. (1999). *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 14, 141-148.
- Azeredo, J., Oliveira, R. (2000). *Biofouling*, 16, 59-67.
- Azeredo, J., Oliveira, R. (2003). In *biofilms in medicine, industry and environmental biotechnology - characteristics, analysis and control*, Lens, P., Moran, A. P., Mahony, T., Stoodley, P., O' Flaherty, V. (eds.), IWA Publishing, London, 16-31.
- Boyle E. e Finlay B. (2003). *Current opinion in cell biology*, 15(5):633-639.
- Henriques, M., Azeredo, J., Oliveira, R. (2006). *Critical reviews in microbiology*, 32, 217-226.
- Santos, L., Rodrigues, D., Lira, M., Real Oliveira, M. E. C. D., Oliveira, R., Vilar, E. Y.-P., Azeredo, J. (2007) *Contact lens & anterior eye* 30, 183-18.
- Henriques M., Azeredo J., Oliveira R., (2007). *Mycoses*, 50:5, 391-396.
- Oliveira, R., Azeredo, J., Teixeira, P. (2003). in *An interdisciplinary approach*, Wuertz, S., Bishop, P. L., Wilderer, P. A. (eds.) IWA Publishing, London, 211-231.
- Poortinga, A. T., Bos, R., Norde, W. and Busscher, H. J., (2002). *Surface science reports* 47:1-32.

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37  
38  
39  
40  
41  
42  
43